# 不同品种奶牛产奶量、乳成分、血清生化指标与乳钙含量的相关性研究[1]

卢　娜[1,2]　刘高飞[1,3*]　王雅晶[2]　邵　伟[1]　余　雄[1**]　李胜利[2**]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业大学动物科技学院，动物营养学国家重点实验室，北京市生鲜乳质量安全工程技术研究中心，北京 100193；3.内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司，呼和浩特 011500）

摘　要：本试验通过检测不同品种奶牛的产奶量、乳成分和血清生化指标，研究其三者与乳钙含量的相关性，为获取高钙奶源提供理论依据。从饲养娟姗牛、西门塔尔牛、西门塔尔牛与荷斯坦杂交牛（西荷 $F_1$ 牛）和荷斯坦牛的 4 个牧场中分别选取 50 头泌乳天数为 100~150 d、胎次 1~3 胎、健康无疾病的奶牛，于气温(14±4) ℃的某日采集样品。记录当日 3 次产奶量，采集当日早、中、晚 3 次奶样，再从其中随机挑选 30 头牛，采集早、中、晚 3 次血液样品。即每个品种奶牛采集 150 个奶样，检测乳成分；采集 90 个血样，检测生化指标。并对不同品种奶牛乳钙含量与产奶量、乳成分和血清生化指标的相关性进行分析。结果表明：1）荷斯坦牛的产奶量显著高于其他品种奶牛（$P<0.05$），娟姗牛的乳蛋白率显著高于其他品种奶牛（$P<0.05$），娟姗牛和西门塔尔牛的乳脂率及乳钙、乳磷、乳锌含量显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛（$P<0.05$），西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛的乳糖率显著高于娟姗牛（$P<0.05$），娟姗牛的乳镁含量显著高于西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛（$P<0.05$）。2）娟姗牛和西门塔尔牛的血清碱性磷酸酶（ALP）活性显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛（$P<0.05$），西荷 $F_1$ 牛的血清钙和磷含量显著高于其他 3 个品种奶牛（$P<0.05$），娟姗牛和荷斯坦牛的血清磷含量显著高于西门塔尔牛（$P<0.05$），西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛的血清维生素 D 含量显著高于娟姗牛和西门塔尔牛

---

收稿日期：2018-01-26

基金项目：2017 年农产品质量安全监管（畜牧）项目（131721301092361005）

作者简介：卢　娜（1983—），女，河北石家庄人，博士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: 36486407@qq.com

*同等贡献作者

**通信作者：余　雄，教授，博士生导师，E-mail: yuxiong8763601@126.com；李胜利，教授，博士生导师，E-mail: lisheng0677@163.com

（$P<0.05$）。3）4 个品种奶牛的乳钙含量与乳蛋白率及乳锌、乳磷含量均呈显著或极显著正相关（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），乳钙含量与产奶量、乳脂率、乳糖率以及血清 ALP 活性和甲状旁腺激素（PTH）、维生素 D、钙、磷、镁含量均无显著相关性（$P>0.05$）。综上所述，品种对于乳钙含量的影响较大，娟姗牛和西门塔尔牛乳钙含量较高，荷斯坦奶牛的乳钙含量最低但产奶量最高。乳钙含量与乳蛋白率和乳锌、乳磷含量呈正相关，与血清 ALP 活性和 PTH、维生素 D、钙、磷、镁含量无相关性。

关键词：奶牛；品种；乳成分；乳钙；相关性

中图分类号：S823

钙是人体必需的常量元素，对调节机体系统、组织、器官的正常生理功能起着重要作用，人体细胞的活动也受钙的调控。当长时间的摄入钙缺乏时，可造成钙代谢紊乱，引发骨质疏松、内分泌失调、心脑血管和神经系统等疾病[1]。截至 2011 年，国家食品药品监督管理局批准的补钙产品已高达 1 740 多种[2]。主要的含钙药物有如下特点：碳酸钙等无机钙虽钙含量高，但吸收率低且对胃有强烈的刺激性；乳酸钙和葡糖糖酸钙等有机钙吸收率优于无机钙，胃肠刺激小，但钙含量低，胃内分解为钙离子（$Ca^{2+}$）后易于结合草酸等阻碍钙的吸收[3]。牛奶是人类优质的钙源补充剂，其钙、磷比例约为 1.3:1.0，恰好符合人体对钙、磷的吸收比例，易于吸收[4-5]。我国牛奶中乳钙含量通常为 1 030 mg/kg[6]，而欧洲牛奶中乳钙含量为 1 020~2 200 mg/kg[7]。Mestawet 等[8]试验报道，不同品种山羊的牛奶中蛋白质、脂肪、乳糖和乳钙含量等差异很大。同一品种奶牛的乳矿物质含量个体差异也比较大，但同一个体在整个泌乳阶段的乳钙含量变化不大[9-10]。另外，Van Hulzen 等[11]通过对 388 个牧场的 1 860 头初产的荷兰荷斯坦奶牛的乳成分研究表明，基因对乳钙、乳磷和乳镁含量的影响比牧场管理对其的影响更大。因此，牛奶中乳钙含量与奶牛品种密切相关，而有关乳钙含量与产奶量、乳成分和血清生化指标相关性的研究甚少。因此，本试验选择国内常见的 4 个奶牛品种，通过

检测产奶量、乳成分和血清生化指标，研究不同品种奶牛的乳钙含量与产奶量、乳成分和血清生化指标的相关性，为获取高钙奶提供全面的理论依据，满足人类对高钙奶的需求。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验设计

本试验牛奶样品采集于牧场 1（唐山某牧场）的娟姗牛、牧场 2（新疆某牧场）的西门塔尔牛、牧场 3（通辽某牧场）的西门塔尔牛和荷斯坦杂交牛（西荷 $F_1$ 牛）、牧场 4（北京某牧场）的荷斯坦牛，共计 4 个牧场的 4 个不同品种奶牛的牛奶样品，牧场养殖规模均在 1 000 头以上。分别选取 4 个牧场的泌乳天数为 100~150 d、胎次 1~3 胎、健康无疾病的奶牛各 50 头，于气温(14±4) ℃的某日采集样品，记录当日 3 次产奶量，采集当日早、中、晚 3 次奶样，再从其中随机挑选 30 头采集早、中、晚 3 次血液样品，即每个品种奶牛采集 150 个奶样，90 个血样。各个牧场奶牛的饲粮均参照 NRC（2001）配制，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

| 项目 Items | 品种 Breed | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 娟姗 Jersey | 西门塔尔 Simmental | 西荷$F_1$ Simmental×Holstein $F_1$ | 荷斯坦 Holstein |
| 原料 Ingredients | | | | |
| 全株玉米青贮 Whole corn silage | 28.49 | 29.55 | 29.57 | 26.72 |
| 苜蓿干草 Alfalfa hay | 8.53 | 9.63 | 8.91 | 12.02 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 燕麦草 Oat grass | 4.79 | 4.77 | 4.93 | 9.97 |
| 羊草 Chinese wildrye | 3.91 | 6.48 | 6.70 | |
| 蒸汽压片玉米 Steam-flaked corn | 2.59 | 3.02 | | 6.12 |
| 玉米 Corn | | | 5.68 | |
| 膨化大豆 Extruded soybean meal | | | | 5.34 |
| 喷浆玉米皮 Spraying corn bran | | 2.34 | | |
| 大豆皮 Soybean hull | 3.77 | | 2.34 | 2.37 |
| 精料 Concentrate[1)] | 38.25 | 35.75 | 35.91 | 33.45 |
| 甜菜粕 Beet pulp | 3.05 | 2.86 | | |
| 脂肪粉 Fat powder | 1.29 | | | 0.78 |
| 玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS | 2.58 | 2.73 | | 3.23 |
| 全棉籽 Whole cottonseed | 2.75 | 2.87 | 3.46 | |
| 菜籽粕 Rapeseed meal | | | 2.50 | |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels | | | | |
| 产奶净能 $NE_L$/(MJ/kg)[2)] | 6.56 | 6.48 | 6.34 | 7.12 |
| 粗蛋白质 CP | 15.31 | 15.36 | 15.83 | 16.98 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 33.91 | 34.03 | 34.26 | 33.69 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 18.21 | 19.62 | 19.88 | 19.44 |
| 粗灰分 Ash | 10.20 | 9.90 | 9.61 | 9.33 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 粗脂肪 EE | 6.19 | 4.42 | 4.20 | 6.53 |
| 钙 Ca | 1.23 | 1.12 | 1.22 | 1.16 |
| 磷 P | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.34 |

1)精料为牧场自配。Concentrate was made up by farms.

2)产奶净能为计算值，其他营养成分为实测值。$NE_L$ was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

1.2 样品采集及处理

1.2.1 饲粮

采集饲粮样品，将所收集样品置于 65 ℃烘箱烘干 48 h，回潮 48 h 后制成风干样，粉碎后保存待测。

1.2.3 奶样

各牧场均为 3 次挤奶制度，每次挤奶时采集奶样 100 mL，其中 50 mL 奶样放入-4 ℃冰箱冷藏，冷藏样品运送至蒙牛当地事业部实验室进行乳脂率等常规检测；剩余 50 mL 奶样于-20 ℃保存，用于检测乳钙、乳磷、乳镁和乳锌含量。当日所采集的 3 次奶样均分开检测。

1.2.4 血样

于采集奶样的同时采血 10 mL，将采集的血样于 4 000 r/min 离心 10 min 后，将所得上清液分装在 1.5 mL 离心管中，-20 ℃保存待测。

1.3 检测指标及测定方法

1.3.1 饲粮的营养成分

分别采用 GB / T 6435—2014、GB / T 6432—1994、GB / T 6433—2006、GB / T 6438—2007、乙二胺四乙酸二钠络合滴定法和钼黄比色法检测饲粮中的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、粗灰分（Ash）、钙和磷的含量。采用 Van Soest 等[12]的方法测定饲粮中中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量。

1.3.2　乳成分

乳蛋白率、乳脂率和乳糖率采用乳成分分析仪(Foss FT120)测定。乳钙、乳镁和乳锌的含量采用日立（ZA3000）原子吸收分光光度计，分别按照 GB / T 5009.92—2003、GB / T 5009.90—2003、和 GB/T 5009.14—2003 的方法测定。乳磷含量按照 GB / T 5413.22-2010 的方法测定。

1.3.3　血清生化指标

血清甲状旁腺激素（PTH）含量采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法测定，试剂盒由上海朗顿生物科技有限公司提供。血清碱性磷酸酶（ALP）活性及钙、磷和镁的含量采用试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定。血清维生素 D 含量采用高效液相色谱法测定。

1.4　统计分析

数据先用 Excel 2007 进行统计整理，采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析和一般线性模型（GLM）分析相关性。Duncan 氏多重比较法进行差异显著性检验，$P < 0.05$ 表示差异显著，$P < 0.01$ 表示差异极显著，结果以平均值±标准差表示。

2　结　果

2.1　不同品种奶牛的产奶量和乳成分

由表 2 可知，荷斯坦牛的产奶量显著高于其他品种奶牛（$P<0.05$），其他 3 个品种之间差异不显著($P>0.05$)。娟姗牛的乳蛋白率显著高于西门塔尔牛、西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛（$P<0.05$），且西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛显著高于荷斯坦牛（$P<0.05$），西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛之间差异不显著($P>0.05$)。娟姗牛和西门塔尔牛的乳脂率及乳钙、乳磷、乳锌含量显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛（$P<0.05$）；西荷 $F_1$ 牛的乳钙、乳磷和乳锌含量高于荷斯坦奶牛，但差异不显著（$P>0.05$）；西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛的乳糖率显著高于娟姗牛（$P<0.05$）；娟姗牛的乳镁含量显著高于西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛（$P<0.05$），西门塔尔牛、西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛之间的乳镁含量差异不显著（$P>0.05$）。

表 2　不同品种奶牛的产奶量和乳成分

Table 2　Milk yield and milk composition of different dairy cow breeds

| 项目 Items | 品种 Breed | | | | *P*值 *P*-value |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | 娟姗 Jersey | 西门塔尔 Simmental | 西荷$F_1$ Simmental×Holstein $F_1$ | 荷斯坦 Holstein | |
| 产奶量 Milk yield/kg | 25.87±6.09[b] | 23.50±10.07[b] | 28.88±8.40[b] | 43.87±4.48[a] | <0.01 |
| 乳蛋白率 Milk protein rate/% | 3.60±0.28[a] | 3.38±0.29[b] | 3.29±0.34[b] | 3.04±0.18[c] | <0.01 |
| 乳脂率 Milk fat rate/% | 4.14±0.94[a] | 4.25±1.65[a] | 3.56±0.43[b] | 3.51±0.61[b] | <0.01 |
| 乳糖率 Milk lactose rate/% | 4.83±0.47[b] | 4.89±0.68[ab] | 5.02±0.12[a] | 5.03±0.16[a] | <0.01 |
| 乳钙 Milk Ca/（mg/g） | 1.27±0.06[a] | 1.24±0.10[a] | 1.16±0.13[b] | 1.15±0.09[b] | <0.01 |
| 乳磷 Milk P/（mg/g） | 1.06±0.07[a] | 1.03±0.10[a] | 0.99±0.10[b] | 0.98±0.10[b] | <0.01 |
| 乳镁 Milk Mg/（mg/g） | 0.09±0.03[a] | 0.08±0.02[b] | 0.07±0.01[b] | 0.08±0.01[ab] | <0.01 |
| 乳锌 Milk Zn/（μg/g） | 5.42±0.97[a] | 4.67±1.48[a] | 4.31±0.72 | 3.83±2.23[b] | <0.01 |

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。表 3 同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as Table 3.

## 2.2　不同品种奶牛的血清生化指标

由表 3 可知，各品种奶牛的血清 PTH 和镁含量差异不显著（$P>0.05$）。娟姗牛和西门塔尔牛的血清 ALP 活性显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛（$P<0.05$）；西荷 $F_1$ 牛的血清钙和磷含量显著高于其他 3 个品种奶牛（$P<0.05$），其他 3 个品种之间的血清钙含量差异不显著（$P>0.05$）；娟姗牛和荷斯坦牛的血清磷含量显著高于西门塔尔牛（$P<0.05$），且娟姗牛和荷斯坦牛之间差异不显著（$P>0.05$）。西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛的血清维生素 D 含量显著高于娟姗牛和西门塔尔牛（$P<0.05$）。

表 3　不同品种奶牛的血清生化指标

Table 3　Serum biochemical indices of different dairy cow breeds

| 项目 Items | 品种 Breed | | | | *P*值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 娟姗 Jersey | 西门塔尔 Simmental | 西荷$F_1$ Simmental×Holstein $F_1$ | 荷斯坦 Holstein | |
| 甲状旁腺激素 PTH/（ng/dL） | 66.71±15.79 | 66.83±14.61 | 60.63±15.32 | 61.59±16.45 | 0.78 |
| 碱性磷酸酶 ALP/（U/L） | 65.89±17.9$^{a}$ | 58.60±20.72$^{a}$ | 36.00±14.65$^{b}$ | 38.50±10.23$^{b}$ | <0.01 |
| 维生素D Vitamin D/（ng/mL） | 29.89±16.12$^{b}$ | 14.85±5.23$^{b}$ | 41.49±19.63$^{a}$ | 37.26±16.19$^{a}$ | <0.01 |
| 钙 Ca/(mmol/L) | 2.24±0.15$^{b}$ | 2.23±0.19$^{b}$ | 2.48±0.09$^{a}$ | 2.25±0.10$^{b}$ | 0.02 |
| 磷 P/(mmol/L) | 1.64±0.22$^{b}$ | 1.53±0.13$^{c}$ | 2.25±0.75$^{a}$ | 1.84±0.22$^{b}$ | <0.01 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 镁 Mg/(mmol/L) | 0.93±0.34 | 0.96±0.18 | 1.04±0.09 | 0.91±0.07 | 0.15 |

2.3　不同品种奶牛乳钙含量与产奶量、乳成分、血清生化指标的相关性分析

由表 4 可知，4 个品种奶牛的乳钙含量与乳蛋白率及乳锌、乳磷含量均呈显著或极显著正相关（$P$<0.05 或 $P$<0.01），乳钙含量与产奶量、乳脂率、乳糖率以及血清 ALP 活性和 PTH、维生素 D、钙、磷、镁含量均无显著相关性（$P$>0.05）。

表 4　不同品种奶牛乳钙含量与产奶量、乳成分、血清生化指标的相关性

Table 4　Correlations of milk calcium content with milk yield, milk composition and serum biochemical indices of different dairy cow breeds

| 项目 Items | 品种 Breed | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 娟姗 Jersey | 西门塔尔 Simmental | 西荷$F_1$ Simmental×Holstein $F_1$ | 荷斯坦 Holstein |
| 产奶量 Milk yield | 0.169 3 | 0.037 7 | -0.102 9 | -0.113 4 |
| 乳蛋白率 Milk protein rate | 0.207 2$^{*}$ | 0.201 6$^{*}$ | 0.476 9$^{**}$ | 0.226 2$^{*}$ |
| 乳脂率 Milk fat rate | -0.122 9 | 0.120 5 | 0.045 2 | 0.134 0 |
| 乳糖率 Milk lactose rate | 0.049 4 | 0.121 9 | 0.177 2 | -0.013 2 |
| 乳锌含量 Milk Zn content | 0.244 5$^{*}$ | 0.266 4$^{*}$ | 0.595 5$^{*}$ | 0.250 1$^{*}$ |
| 乳磷含量 Milk P content | 0.472 8$^{*}$ | 0.532 7$^{*}$ | 0.597 6$^{*}$ | 0.621 4$^{*}$ |
| 血清甲状旁腺激素含量 Serum PTH content | -0.269 8 | 0.005 7 | -0.226 8 | 0.028 8 |
| 血清碱性磷酸酶活性 Serum ALP activity | 0.008 9 | 0.102 1 | 0.012 2 | 0.003 9 |
| 血清钙含量 Serum Ca | 0.106 4 | -0.005 0 | -0.173 4 | 0.285 7 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| content | | | | |
| 血清磷含量 Serum P content | 0.007 5 | 0.123 6 | 0.117 3 | 0.132 7 |
| 血清镁含量 Serum Mg content | -0.136 8 | -0.239 8 | -0.074 7 | -0.113 4 |
| 血清维生素D含量 Serum vitamin D content | -0.208 4 | -0.158 1 | -0.205 4 | -0.105 4 |

*表示显著相关($P$<0.05)，**表示极显著相关（$P$<0.01）。

* mean significant correlation ($P$<0.05), ** mean highly significant correlation ($P$<0.01)。

## 3　讨　论

### 3.1　不同品种奶牛的产奶量和乳成分

不同品种奶牛的生产性能、体型和生理特征的差异，导致其对于饲喂的营养水平、饲粮种类以及挤奶设备等需求差异很大[13]。因此，在同一牧场或统一营养条件下，4 个品种不能同时并存。本试验采样的 4 个牧场，其饲喂管理均较符合该品种特有的生理特点。来自同一牧场的娟姗牛产奶量显著低于荷斯坦牛，平均每天低 4.92 kg[14]。西门塔尔牛和荷斯坦牛的年产奶量差异显著，分别为 4.7 和 6.5 t[15]。李亚昆等[16]研究表明，杂交一代的蒙荷 $F_1$ 与弗荷 $F_1$ 的 305 d 产奶量分别比荷斯坦牛少了 398 和 538 kg。荷斯坦牛的日产奶量是本试验选择的 4 个品种中最高的，其余 3 个品种奶牛之间日产奶量差异不显著。

娟姗牛原产于英吉利海峡的娟姗岛，主要以乳蛋白率和乳脂率高而闻名[17]。与荷斯坦牛相比，乳蛋白率高 20%左右[18]。西门塔尔牛的乳蛋白率为 4.02%，显著高于荷斯坦牛[19]。西荷 $F_1$ 牛的乳蛋白率比荷斯坦牛高 0.07%，差异显著[16]。本试验结果与上述报道一致，娟姗牛、西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛的乳蛋白率均显著高于荷斯坦牛。

关于乳脂率，娟姗牛显著高于荷坦牛[20]。孙悦等[19]研究表明，西门塔尔牛乳脂率显著高于荷斯坦牛。同时西荷 $F_1$ 乳脂率显著高于荷斯坦牛[21]。娟姗牛与荷斯坦牛的乳糖率差异不显著[20]。孙悦等[19]研究表明，西门塔尔牛与荷斯坦牛乳糖率差异不显著。傅春泉等[22]研

究发现，西荷 $F_1$ 牛与荷斯坦牛的乳糖率分别为 5.02%和 5.11%，差异不显著。本试验除西荷 $F_1$ 牛与荷斯坦牛的乳脂率无显著差异，娟姗牛乳糖率显著低于荷斯坦牛，其他均与上述报道一致，娟姗牛和西门塔尔牛乳脂含量显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛。西门塔尔牛、西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛 3 个品种之间乳糖率差异不显著。

Van Hulzen 等[11]对荷兰 388 个牧场的 1 860 头初产荷斯坦牛乳研究表明，基因对乳钙、乳磷和乳镁含量的影响比牧场管理更大。林波等[23]通过采集不同品种奶样分析，娟姗牛和荷斯坦牛的乳钙含量分别为 150 和 120 mg/dL，乳镁含量分别为 12.5 和 10.1 mg/100dL，乳锌含量分别为 0.40 和 0.42 mg/dL。王阳等[24]研究报道，经产娟姗牛和荷斯坦牛分娩后 120 h 的乳钙含量分别为 147.07 和 106.49 mg/dL，乳镁含量分别为 24.7 和 13.77 mg/dL。关于西门塔尔牛和西荷 $F_1$ 牛乳钙、乳镁和乳锌含量报道较少。本试验中，娟姗牛和西门塔尔牛乳钙、乳磷和乳锌含量显著高于西荷 $F_1$ 牛和荷斯坦牛。关于乳镁含量与上述报道不一致，娟姗牛与荷斯坦牛差异不显著。

3.2　不同品种奶牛中乳钙含量与乳成分的关系

Gaucheron[25]报道，不同品种奶牛乳钙含量变化很大，且乳蛋白率较高的牛奶中矿物质含量也较高。Poulsen 等[26]通过对乳制品加工厂 2010 年整年大约 275 个供应商（不同品种）的奶样进行汇总分析得出结论，乳钙含量和乳蛋白率呈显著正相关，认为可能是由于它们具有相同的代谢途径。2010 年，Bijl 等[27]对 20 个乳企每周的大罐奶采集奶样检测乳成分，并与 20 世纪 30~60 年代乳成分比对，分析后得到结论，牛奶中总钙含量和乳蛋白率呈显著正相关，相关系数为 0.725。本试验与上述报道基本一致，单个品种奶牛的乳蛋白率和乳钙含量呈均显著正相关。Bijl 等[27]研究发现，乳钙含量与乳磷含量呈显著正相关。Rodríguez 等[28]在 1995 年整年期间，针对 8 个不同牧场平均每 15 d 采集 1 次新产牛大罐奶样品，分析乳钙、乳镁和乳锌等矿物质元素含量，结果显示，乳钙含量显与乳锌含量显著相关，与乳镁含量相

关性不大。本试验中，4 种品种的乳钙含量与乳磷、乳锌含量均具有正相关性。这也说明，奶牛品种的差异并未影响乳蛋白率和乳钙、乳锌的分泌。

对乳钙含量与乳蛋白率和乳磷、乳锌含量高度相关性的解释是：乳蛋白的 80%是由酪蛋白组成，牛奶中的酪蛋白不是单独存在的，而是和其他阴阳离子相互缠绕在一起而形成的复合物，即酪蛋白胶束[29]。牛奶中 72%钙和 48%磷含量存在于酪蛋白胶束。此外，酪蛋白胶束还与不同的阳离子[三价铁离子（$Fe^{3+}$）、铜离子（$Cu^{2+}$）、$Ca^{2+}$、锌离子（$Zn^{2+}$）和镁离子（$Mg^{2+}$）]结合后存在于牛奶中，牛奶中的阳离子与酪蛋白胶束结合的顺序为 $Fe^{3+}$>$Zn^{2+}$>$Ca^{2+}$> $Cu^{2+}$>$Mg^{2+}$[30]。这说明乳中 $Zn^{2+}$比 $Ca^{2+}$与牛奶中的酪蛋白结合能力更强。因此，乳钙、乳蛋白、乳磷和乳锌均结合在酪蛋白胶束并大量分布在乳蛋白中，所以乳钙含量与乳蛋白率和乳磷、乳锌含量呈高度正相关。

### 3.3 不同品种奶牛血清生化指标与乳钙含量的相关分析

PTH 是调节血清钙、磷水平的主要激素之一。傅春泉等[22]试验发现，西门塔尔牛与荷斯坦牛的杂交后代第 1 胎泌乳母牛（西荷 $F_1$ 牛）与同龄荷斯坦奶牛的血清 PTH 含量分别为 66.25 和 76.08 nmol/L，差异不显著。与上述报道相似，本试验不同品种奶牛的血清 PTH 含量差异不显著。此外，本试验得知，乳钙含量与血清 PTH 含量相关系数很低。甲状旁腺激素相关蛋白(PTHrP)和 PTH 有一定的同源性，且通过相同的受体发挥相似的生物学作用[31-32]。Barlet 等[33]和 Van Houten 等[34]报道，在哺乳动物特别是山羊和老鼠的研究表明，PTHrP 是提高乳钙含量的主要因素。Onda 等[35]在荷斯坦奶牛的研究中得出结论，牛奶中 PTHrP 的合成和分泌与乳钙含量密切相关。然而，本试验中乳钙含量的差异性是否与 PTHrP 有关，还需要开展进一步的研究。

ALP 是一种糖蛋白，正常生理状态下该酶是在乳脂肪球形成过程中作为浆膜的一部分进入血中的，在泌乳早期和中期血清 ALP 活性较高。血清 ALP 活性是反映钙、磷代谢的重要指标，也是反映动物机体成骨细胞和骨生成的一种重要的生化指标。彭洁等[36]对槟榔江

水牛、摩拉水牛和荷斯坦奶牛的血清 ALP 活性比对，2 种水牛的血清 ALP 活性显著高于荷斯坦奶牛。本研究中娟姗牛和西门塔尔牛血清 ALP 活性显著高于西荷 $F_1$ 和荷斯坦奶牛，表明娟姗牛和西门塔尔牛钙和磷在骨骼中沉积多，骨生成代谢旺盛。

一般认为，乳钙含量与血清中 $Ca^{2+}$ 的浓度相关。Boudon 等[37]报道，通过调整饲粮阴阳离子差（DCAD）值至 400 时，可以降低血清中 $Ca^{2+}$ 的浓度，却提高了牛奶中 $Ca^{2+}$ 的浓度，证实了血清钙含量和乳钙含量不存在相关性。主要是因为：当血清中钙含量降低时，泌乳期动物大量动员骨骼中沉积的钙，满足乳腺中乳钙的含量；当血清中钙含量增高时，机体将多余的钙重吸收，一部分沉积于骨骼，一部分排出体外。因此，血清钙含量对于乳钙含量的影响不大。另外，居星耀等[38]和何丽等[39]指出，血清中维生素 D、钙、磷、镁的共同作用能够促进骨骼生长。本试验结果证实，乳钙含量与血清中钙代谢的常规指标的含量无显著相关性。

## 4 结　论

品种对于乳钙含量的影响较大，娟姗牛和西门塔尔牛乳钙含量较高，荷斯坦奶牛的乳钙含量最低但产奶量最高。乳钙含量与乳蛋白率和乳锌、乳磷含量呈正相关，与血清 ALP 活性和 PTH、维生素 D、钙、磷、镁含量无相关性。



**参考文献：**

[1] 张荣.缺钙与身体疾病的关联[J].黑龙江医药,2009,22(2):193–194.

[2] 蒋金来,王令充,吴皓,等.钙制剂研究进展[J].食品工业科技,2012(11):379–382,387.

[3] 肖珊.乳清蛋白肽螯合钙的制备及其微胶囊化的研究[D].硕士学位论文.广州:华南理工大学,2014.

[4] 邹优敬.饮牛奶与补钙[J].广西畜牧兽医,2000,16(3):13–15.

[5] 岳亚杰.吉林省德惠市 658 名中老年女性跟骨超声骨密度分析[D].硕士学位论文.长春:吉林大学,2016.

[6] 劳文艳,张志广,陈蓉.几种不同风味牛奶中钙镁锌元素的含量测定[J].北京联合大学学报,2013,27(1):82–86.

[7] CHASSAING C,SIBRA C,VERBIČ J,et al.Mineral,vitamin A and fat composition of bulk milk related to European production conditions throughout the year[J].Dairy Science and Technology,2016,96(5):715–733.
[8] MESTAWET T A,GIRMA A,ÅDNØY T,et al.Milk production,composition and variation at different lactation stages of four goat breeds in Ethiopia[J].Small Ruminant Research,2012,105(1/2/3):176–181.
[9] HURTAUD C,JOHAN M,LEURENT S,et al.Evolution of milk calcium content during the year[C]//Dairy production in mountain:farming systems,milk and cheese quality and implications for the future:proceedings of the international meeting on mountain cheese.Dronero:International Meeting on Mountain Cheese,2015.
[10] TSIOULPAS A,LEWIS M J,GRANDISON A S.Effect of minerals on casein micelle stability of cows' milk[J].Journal of Dairy Research,2007,74(2):167–173.
[11] VAN HULZEN K J E,SPRONG R C,VAN DER MEER R,et al.Genetic and nongenetic variation in concentration of selenium,calcium,potassium,zinc,magnesium,and phosphorus in milk of Dutch Holstein-Friesian cows[J].Journal of Dairy Science,2009,92(11):5754–5759.
[12] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.
[13] 张旭光.奶牛保险的减损效果及对养殖户行为的影响——基于内蒙古奶牛养殖户的实证分析[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
[14] 刘舜齐,冯文,徐小辉,等.娟姗牛在南方高温高湿环境下的生产性能分析[J].中国奶牛,2017(7):18–21.
[15] 张志超,王雅春,俞英.德系西门塔尔牛与荷斯坦牛产奶性状及血清细胞因子比较研究[J].中国畜牧杂志,2016,52(17):1–4.
[16] 李亚昆,任小丽,赵新芳,等.利用西门塔尔牛改良中国荷斯坦牛效果初探[J].中国奶牛,2017(11):14–16.
[17] 王洋,于静,王巍,等.娟姗牛品种特性及适应性饲养研究[J].中国奶牛,2011(11):47–48.
[18] 王任,HAYAKAWA S,周明昊,等.日本香川地区荷斯坦牛乳与娟姗牛乳营养成分的比较[J].中国食品卫生杂志,2015,27(6):652–657.
[19] 孙悦,李铁柱,张莉,等.乳肉兼用型西门塔尔牛乳化学组成及营养评价[J].中国乳品工业,2012,40(4):8–11.
[20] 李朝明,别应堂,魏学良.热应激对荷斯坦和娟姗及娟荷杂交奶牛生产性能的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(17):77–81.

[21] 王志刚,常瑶,邱小田,等.德系西门塔尔牛与荷斯坦牛杂交效果分析[J].中国奶牛,2017(12):26–30.

[22] 傅春泉,姜俊芳,何英俊.德系西门塔尔牛与荷斯坦牛杂交利用的研究[J].中国畜牧杂志,2014,50(23):15–18.

[23] 林波,黎颖,李玲,等.不同品种水牛乳中矿物元素的测定与分析[J].中国乳品工业,2014,42(3):15–17,21.

[24] 王阳,何剑斌.经产娟姗牛与中国荷斯坦牛初乳成分比较研究[J].现代畜牧兽医,2013(11):61–68.

[25] GAUCHERON F.The minerals of milk[J].Reproduction Nutrition Development,2005,45(4):473–483.

[26] POULSEN N A,RYBICKA I,POULSEN H D,et al.Seasonal variation in content of riboflavin and major minerals in bulk milk from three Danish dairies[J].International Dairy Journal,2015,42:6–11.

[27] BIJL E,VAN VALENBERG H J,HUPPERTZ T,et al.Protein,casein,and micellar salts in milk:current content and historical perspectives[J].Journal of Dairy Science,2013,96(9):5455–5464.

[28] RODRÍGUEZ E M R,ALAEJOS M S,ROMERO C D.Mineral concentrations in cow’ s milk from the Canary Island[J].Journal of Food Composition and Analysis,2001,14(4):419–430.

[29] 范金波,王鹏杰,周素珍,等.酪蛋白胶束结构和理化性质的研究进展[J].食品工业科技,2014,35(3):396–400.

[30] PHILIPPE M,LE G Y,GAUCHERON F.The effects of different cations on the physicochemical characteristics of casein micelles[J].Food Chemistry,2005,90(4):673–683.

[31] WONG M H,STOCKLER M R,PAVLAKIS N.Bisphosphonates and other bone agents for breast cancer[J].The Cochrane Database of Systematic Reviews,2012(2):CD003474.

[32] OKAZAKI M,FERRANDON S,VILARDAGA J P,et al.Prolonged signaling at the parathyroid hormone receptor by peptide ligands targeted to a specific receptor conformation[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2008,105(43):16525–16530.

[33] BARLET J P,CHAMPREDON C,COXAM V,et al.Parathyroid hormone-related peptide might stimulate calcium secretion into the milk of goats[J].Journal of Endocrinology,1992,132(3):353–359.

[34] VAN HOUTEN J N.Calcium sensing by the mammary gland[J].Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia,2005,10(2):129–139.

[35] ONDA K,YAMAGUCHI M,OHASHI M,et al.Modification of the analysis of parathyroid hormone-related protein in milk and concentrations of this protein in commercial milk and milk products in Japan[J].Journal of Dairy Science,2010,93(5):1861–1867.

[36] 彭洁,贺珠婷,李卫真,等.槟榔江水牛、摩拉水牛和荷斯坦奶牛血清中酶活性的测定[J].黑龙江畜牧兽医,2016(9):212–214.
[37] BOUDON A,JOHAN M,NARCY A,et al.Dietary cation-anion difference and day length have an effect on milk calcium content and bone accretion of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2016,99(2):1527–1538.
[38] 居星耀,盛红斌,沈健.锌、维生素 D、钙联用对婴幼儿佝偻病疗效及对生化指标和骨密度的影响[J].儿科药学杂志,2015,21(5):21–24.
[39] 何丽,张坚,付萍.补充钙、维生素 D 及镁、锌、铜对大鼠骨密度和骨强度的影响[J].中国临床营养杂志,2005,13(3):186–189.

Study on Correlations between Milk Yield, Milk Composition and Serum Biochemical Indices with Milk Calcium Content of Different Dairy Cow Breeds[2]

LU Na[1,2] LIU Gaofei[1,3*] WANG Yajing[2] SHAO Wei[1] YU Xiong[1**] LI Shengli[2**]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *Beijing Engineering Technology Research Center of Raw Milk Quality and Safety Control, State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*; 3. *Inner Mongolia Mengniu Dairy (group) Co., Ltd., Hohhot* 011500, *China*)

Abstract: This study was conducted to test the milk yield, milk composition and serum biochemical indices of different dairy cow breeds, and to research the correlations between them with milk calcium content, to provide the theoretical basis for acquisition of high calcium milk sources. There were 4 different breeds of healthy dairy cows with the condition of 100 to 150 lactation days and parity 1 to 3, which were from 4 farms including Jersey, Simmental, Simmental×Holstein (S×H $F_1$) and Holstein as the experimental subjects, and collected the samples at a certain date when the temperature was (14±4) ℃. Milk yield was recorded 3 times on

*Contributed equally
**Corresponding authors: YU Xiong, professor, E-mail: yuxiong8763601@126.com; LI Shengli, professor, E-mail: lisheng0677@163.com (责任编辑 武海龙)

the day, milk samples were collected from all those cows 3 times a day at morning, noon and night. Then serum samples were collected from 30 cows randomly selected from the above 50 cows in each farm, 3 times a day at morning, noon and night. Thereby we got 150 milk samples for testing milk components and 90 serum samples for testing the serum biochemical indices from each breed of dairy cow. The correlation of milk calcium content with milk yield, milk composition and serum biochemical indices were analyzed. The results showed as follows: 1) the milk yield of Holstein cows was significant higher than that of other breed cows ($P<0.05$), the milk protein rate of Jersey cows was significant higher than that of other breed cows ($P<0.05$), the milk fat rate and contents of calcium, phosphorus and zinc in milk of Jersey and Simmental cows were significant higher those of S×H $F_1$ and Holstein cows ($P<0.05$), the milk lactose content of S×H $F_1$ and Holstein cows was significant higher than that of Jersey cows ($P<0.05$), the milk magnesium content of Jersey cows was significant higher than that of S×H $F_1$ and Simmental cows ($P<0.05$). 2) The serum alkaline phosphatase（ALP）activity of Jersey and Simmental cows was significant higher than that of S×H $F_1$ and Holstein cows ($P<0.05$), the contents of calcium and phosphorus in serum of S×H $F_1$ cows were significant higher those of other breed cows ($P<0.05$), the serum phosphorus content of Jersey and Holstein cows was significant higher than that of Simmental cows ($P<0.05$), the serum vitamin D content of S×H $F_1$ and Holstein cows was significant higher than that of Jersey and Simmental cows ($P<0.05$). 3) The milk calcium content was significantly positively correlated with milk protein rate and contents of zinc and phosphorus in milk of the 4 dairy cow breeds ($P<0.05$ or $P<0.01$), while there was no correlation between milk calcium content with other indices including milk yield, milk fat rate, milk lactose rate and ALP activity and parathyroid hormone (PTH), vitamin D, calcium, phosphorus, magnesium contents in serum ($P>0.05$). In conclusion, breeds has great influence on milk calcium content, the milk calcium

content of Jersey and Simmental cows is relatively higher whereas the Holstein cows has the lowest milk calcium content and the highest milk yield. Milk calcium content is positively correlated with milk protein rate and contents of zinc and phosphorus, and has no correlation with the ALP activity and PTH, vitamin D, calcium, phosphorus, magnesium contents in serum.

Key words: dairy cows; breed; milk composition; milk calcium; correlation